

19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

12 **Offenlegungsschrift**  
11 **DE 37 12 145 A 1**

51 Int. Cl. 4:  
**G 02 B 26/00**  
G 02 B 1/04

21 Aktenzeichen: P 37 12 145.6  
22 Anmeldetag: 10. 4. 87  
23 Offenlegungstag: 17. 3. 88

Verordnungsamt

DE 37 12 145 A 1

30 Unionspriorität: 32 33 31

11.04.86 JP P 083763/86

71 Anmelder:

Canon K.K., Tokio/Tokyo, JP

74 Vertreter:

Blumbach, P., Dipl.-Ing., 6200 Wiesbaden; Weser,  
W., Dipl.-Phys. Dr.rer.nat.; Kramer, R., Dipl.-Ing.,  
8000 München; Zwirner, G., Dipl.-Ing.  
Dipl.-Wirtsch.-Ing., 6200 Wiesbaden; Hoffmann, E.,  
Dipl.-Ing., Pat.-Anwälte, 8000 München

72 Erfinder:

Baba, Takeshi, Atsugi, Kanagawa, JP; Nose,  
Noriyuki, Sagami-hara, Kanagawa, JP; Kawakami,  
Eigo, Nakajima, Toshiyuki, Atsugi, Kanagawa, JP;  
Kushibiki, Nobuo, Ebina, Kanagawa, JP; Niwa,  
Yukichi, Atsugi, Kanagawa, JP

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

64 Optisches Bauelement mit veränderlicher Brennweite

Ein optisches Bauelement mit veränderlicher Brennweite besitzt ein Elastomerteil, ein relativ starres Aperturteil mit einer Öffnung, welches mit dem Elastomerteil in Berührung steht, ein Gegenglied, das das Elastomerteil zwischen sich und dem Aperturteil sandwichartig einschließt, und einer Einrichtung zum andauernden Aufbringen einer externen Kraft einer bestimmten Größe auf das Elastomerteil.

DE 37 12 145 A 1

## Patentansprüche

1. Optisches Bauelement mit veränderlicher Brennweite, **gekennzeichnet durch** ein Elastomerteil (3), ein relativ starres Aperturteil (2), das eine Öffnung (2a) besitzt und in Berührung steht mit dem Elastomerteil (3), um einen Teil von dessen Oberfläche (3a) durch die Öffnung (2a) freizulegen, ein Gegenglied (4), das das Elastomerteil (3) im Verein mit dem Aperturteil (2) einfaßt, und eine Einrichtung (4, 5) zum dauernden Aufbringen einer äußeren Kraft vorbestimmter Größe auf das Elastomerteil (3) zwischen dem Gegenglied und dem Aperturteil, wobei die Form des freiliegenden Oberflächenteils des Elastomerteils durch Verformung des Elastomerteils änderbar ist.
  2. Bauelement nach Anspruch 1, bei dem der Elastizitätsmodul des Elastomerteils (3)  $10^2$  bis  $10^4$  N/m<sup>2</sup> beträgt.
  3. Bauelement nach Anspruch 1 und 2, bei dem der Elastizitätsmodul des Elastomerteils (3)  $10^3$  bis  $10^4$  N/m<sup>2</sup> beträgt.
  4. Bauelement nach einem der Ansprüche 2 bis 3, bei dem das Elastomerteil Silicongummi aufweist.
  5. Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei dem das Elastomerteil Ethylen-Propylen-Gummi aufweist.
  6. Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 5, bei dem das Elastomerteil (3) eine erste elastomere Schicht (31) und eine zweite elastomere Schicht (32) aufweist, wobei die zweite elastomere Schicht entlang der optischen Achse in der genannten Reihenfolge, ausgehend von dem freiliegenden Oberflächenteil des Elastomerteils, auf die erste elastomere Schicht auflaminiert ist.
  7. Bauelement nach Anspruch 6, bei dem zwischen dem Elastizitätsmodul  $E_1$  der ersten elastomeren Schicht (31) und dem Elastizitätsmodul  $E_2$  der zweiten elastomeren Schicht die Beziehung  $E_1 > E_2$  besteht.
  8. Bauelement nach Anspruch 7, bei dem zwischen der Dicke  $t_1$  der ersten elastomeren Schicht entlang der optischen Achse und der Dicke  $t_2$  der zweiten elastomeren Schicht entlang der optischen Achse die Beziehung  $t_1 < t_2$  besteht.
  9. Bauelement nach Anspruch 6, bei dem die Beziehung  $5 < (E_1 t_1) / (E_2 t_2) < 100$
- zwischen dem Elastizitätsmodul  $E_1$  und der Dicke  $t_1$  entlang der optischen Achse der ersten elastomeren Schicht und dem Elastizitätsmodul  $E_2$  und der Dicke  $t_2$  entlang der optischen Achse besteht.
10. Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 9, bei dem das Verhältnis der Differenz der Dicke des Elastomerteils entlang der optischen Achse zwischen der Dicke der ursprünglichen Form und dem Zustand, bei dem die externe Kraft vorbestimmter Größe aufgebracht wird, zu der Dicke des Elastomerteils entlang der optischen Achse in der ursprünglichen Form 1 bis 20% beträgt.
  11. Bauelement nach Anspruch 10, bei dem das Verhältnis 2 bis 10% beträgt.
  12. Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 11, bei dem die ursprüngliche Gestalt des freiliegenden Oberflächenteils des Elastomerteils ohne Aufbringung der externen Kraft konvex ist.

13. Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 11, bei dem die ursprüngliche Form des freiliegenden Oberflächenteils des Elastomerteils ohne Aufbringung der externen Kraft konkav ist.

14. Bauelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem der freiliegende Oberflächenteil des Elastomerteils eine reflektierende Oberfläche ist.

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein optisches Bauelement mit veränderlicher Brennweite, das in der Lage ist, die Brennweite durch Verformung einer optischen Oberfläche eines das Bauelement bildenden Elastomerteils zu verändern.

Speziell betrifft die Erfindung ein optisches Bauelement mit veränderlicher Brennweite, bei dem die Brennweite dadurch genau geändert werden kann, daß man dauernd eine externe Kraft vorbestimmter Größe oder eine noch größere Kraft auf das Elastomerteil aufbringt.

Optische Bauelemente finden in verschiedensten Bereichen Anwendung, z. B. als optische Bauteile in Kameras und Videogeräten, in elektrooptischen Instrumenten für die optische Nachrichtenübertragung sowie in Laserplatten. Als optisches Bauelement dieser Art wurde ein optisches Bauelement mit veränderlicher Brennweite vorgeschlagen, bei dem die Brennweite durch Verformung einer optischen Oberfläche geändert werden kann. Dieses Bauelement ist in der japanischen Offenlegungsschrift 1 11 201/1985 beschrieben.

Das bereits entwickelte optische Bauelement besitzt ein elastisches oder elastomeres Teil und ein relativ starres Aperturteil mit einer Öffnung oder Apertur, welches das Elastomerteil kontaktiert, um einen Teil der optischen Oberfläche des Elastomerteils durch die Öffnung hindurch freizulegen. Die optische Oberfläche läßt sich in ihrer Gestalt ändern durch Verformung des Elastomerteils. Ein derartiges optisches Bauelement vermag eine große Vielfalt von Brennweiten zu schaffen, indem die auf das Elastomerteil extern aufgebrachte Kraft um einen geringen Betrag geändert wird.

Außerdem wurden von der Anmelderin weitere optische Bauelemente mit veränderlicher Brennweite der oben genannten Art entwickelt. Ein solches Bauelement macht Gebrauch von einem einschichtigen elastomeren Teil (japanische Offenlegungsschrift 1 11 201/1985); ein anderes Bauelement besitzt ein laminiertes Elastomerteil mit einer verbesserten Verformungskennlinie. Dieses Teil umfaßt mehrere elastomere Schichten mit voneinander abweichenden Elastizitätsmodulen, wobei die Schichten entlang der optischen Achse laminiert sind (japanische Patentanmeldung 88 483/1985).

Allerdings haben diese optischen Bauelemente veränderlicher Brennweite die Neigung, eine unregelmäßige Änderung der Brennweite im Bereich relativ geringer Verformungen des Elastomerteils zu zeigen. Deshalb ist es nicht immer einfach, diese optischen Bauelemente in dem genannten Bereich so zu steuern, daß die für den jeweiligen Zweck gewünschten Brennweiten erhalten werden.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein optisches Bauelement mit veränderlicher Brennweite zu schaffen, bei dem die Brennweite sehr genau eingestellt werden kann, indem man eine regelmäßige und beherrschbare Änderung der Brennweite entsprechend der Verformung des Elastomerteils erhält. Dieses Bauelement soll außerdem eine optische Oberfläche mit hö-

herer Formgenauigkeit besitzen.

Diese Aufgabe wird durch die in Anspruch 1 angegebene Erfindung gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen sind in den Unteransprüchen angegeben.

Es wurde herausgefunden, daß eine regelmäßige Änderung der Brennweite entsprechend der Verformung eines Elastomerteils (oder entsprechend der Größe einer extern aufgetragenen Kraft) realisiert werden kann, indem man dauernd oder konstant eine externe Vorspannkraft auf das Elastomerteil eines optischen Bauelements mit veränderlicher Brennweite aufbringt.

Die erfindungsgemäße Ausbildung eines optischen Bauelements mit veränderlicher Brennweite beruht auf der genannten Erkenntnis und besitzt ein Elastomerteil, ein relativ starres Aperturteil, das eine Öffnung besitzt und in Berührung steht mit dem Elastomerteil, um einen Teil von dessen Oberfläche durch die Öffnung freizulegen, ein Gegenglied, das das Elastomerteil im Verein mit dem Aperturteil sandwichartig einfaßt, und eine Einrichtung zum kontinuierlichen Aufbringen einer äußeren Kraft vorbestimmter Größe auf das Elastomerteil zwischen dem Gegenglied und dem Aperturteil, wobei die Form des freiliegenden Oberflächenteils des Elastomerteils durch dessen Verformung veränderbar ist.

Durch die Erfindung wird eine gute Korrelation zwischen dem Betrag der Verformung des Elastomerteils und dem Änderungsbetrag der Brennweite (oder der Brechkraft) erreicht, basierend auf einer Änderung der Krümmung des freiliegenden Oberflächenteils. Ein Beispiel für eine solche Korrelation ist, daß die eine Größe proportional zu der anderen Größe ist.

Bei einem optischen Bauelement veränderlicher Brennweite gemäß der Erfindung wird auf das Elastomerteil die externe Vorspannkraft aufgebracht, und es wird ein Berührungszustand zwischen dem Elastomerteil und dem Aperturteil derart günstig aufrechterhalten, daß eine regelmäßige oder einer gewissen Ordnung entsprechende Änderung der Krümmung des freiliegenden Oberflächenteils des Elastomerteils erreicht werden kann (im folgenden soll bei dem freiliegenden Oberflächenteil vereinfacht nur von "freiliegender Oberfläche" gesprochen werden).

Außerdem werden Unregelmäßigkeiten der freiliegenden Oberfläche (d. h., eine unzureichende Rotations-symmetrie oder eine schwache sphärische Gestalt) vermieden, wie sie bei der Bildung des Elastomerteils entstehen könnten.

Als Vorteil der Erfindung steht ein optisches Bauelement veränderlicher Brennweite zur Verfügung, bei dem die Brennweite (oder die Brechkraft) genau verändert werden kann, wobei die freiliegende Oberfläche aufgrund der Beseitigung von Unregelmäßigkeiten eine verbesserte optische Genauigkeit besitzt.

Wenn die freiliegende Oberfläche veranlaßt wird, eine ursprüngliche Gestalt einzunehmen (d. h., die Gestalt, die sich einstellt, wenn keine externe Kraft aufgebracht wird), z. B. eine konvexe oder eine konkave Form, so läßt sich in einigen Fällen die Tendenz feststellen, daß die Krümmung der freiliegenden Oberfläche, nachdem das Teil die Form verlassen hat, etwas kleiner ist als die Krümmung der Formoberfläche, d. h. der beabsichtigten Krümmung. Eine derartige Unregelmäßigkeit kann beispielsweise verursacht werden durch eine Verformung des Elastomerteils beim Lösen von der Form. Erfindungsgemäß wird jedoch ein derartiger unerwünschter Effekt aufgrund einer Abweichung der Krümmung der freiliegenden Oberfläche von der gewünschten Form bei Bedarf im wesentlichen beseitigt, und zwar

durch Aufbringung der externen Kraft vorbestimmter Größe.

Im folgenden werden Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand der Zeichnung näher erläutert. Wenn nicht anders angegeben, verstehen sich sämtliche Prozentangaben und "Teile"-Angaben als auf das Gewicht bezogen, wenn nichts anderes gesagt ist.

In der Zeichnung zeigt:

Fig. 1 eine schematische Längsschnittansicht des Elastomerteils eines bereits konzipierten optischen Bauelements veränderlicher Brennweite,

Fig. 2 eine graphische Darstellung der Beziehung zwischen dem Ausmaß der Verformung des Elastomerteils und der sich dabei ergebenden Brechkraft für das in Fig. 1 gezeigte optische Bauelement,

Fig. 3 eine Längsschnittansicht des Elastomerteils einer Ausführungsform eines erfindungsgemäßen optischen Bauelements mit veränderlicher Brennweite,

Fig. 4 eine Längsschnittansicht eines optischen Bauelements in einem Zustand, in welchem ein Druckring als Einrichtung zum Aufbringen einer vorbestimmten externen Kraft weggelassen ist, und

Fig. 5 eine schematische Längsschnittansicht, die ein Verfahren zur Verwendung des optischen Bauelements veranschaulicht.

Zur Beschreibung der Erfindung im einzelnen soll zunächst die Gestalt eines optischen Bauelements ohne eine Einrichtung zur kontinuierlichen Aufbringung einer vorbestimmten externen Kraft beschrieben werden. Ein solches optisches Bauelement wurde bereits in der japanischen Patentanmeldung 88 483/1986 vorgeschlagen.

Fig. 1 ist eine schematische Schnittansicht durch das Elastomerteil eines optischen Bauelements 1a. Das optische Bauelement 1a umfaßt ein Aperturteil 2 mit einer Apertur oder Öffnung 2a; ein Elastomerteil 3, bestehend aus einer ersten elastomeren Schicht 31 und einer zweiten elastomeren Schicht 32, die auf die erste Schicht auf laminiert ist; und einer Bodenplatte 4. Die Teile sind in der genannten Reihenfolge, beginnend auf der Seite der freiliegenden Oberfläche des Elastomerteils, entlang der optischen Achse Z des optischen Bauelements angeordnet.

Fig. 2 zeigt in Form einer graphischen Darstellung die Korrelation zwischen dem Ausmaß der Verformung  $\Delta Z$  gezählt vom Anfangszustand aus, in welchem keine externe Kraft aufgebracht wird, und dem Ausmaß der Veränderung des Brechungsvermögens oder der Brechkraft (dem Reziprokwert der Brennweite)  $\Delta C$ , ausgedrückt in Dioptrien. Im folgenden wird der obige Wert  $\Delta Z$  ausgedrückt als Betrag der Bewegungslänge der Bodenplatte 4 entlang der optischen Achse Z.

Gemäß Fig. 2 weisen in einer Zone relativ kleiner Werte von  $\Delta Z$  die Größen  $\Delta Z$  und  $\Delta C$  eine komplizierte Korrelation auf.

Im Gegensatz dazu wird bei dem erfindungsgemäßen optischen Bauelement eine externe Vorspannkraft vorbestimmter Größe kontinuierlich auf das Elastomerteil aufgebracht, so daß die Verformung  $\Delta Z$  und die Brechkraft  $\Delta C$  eine gute Korrelation aufweisen, wie aus dem im wesentlichen linearen Abschnitt des Graphen in Fig. 2 erkennbar ist.

Fig. 3 zeigt eine bevorzugte Ausführungsform des erfindungsgemäßen optischen Bauelements. Das Bauelement weist auf: ein relativ starres zylindrisches Aperturteil 2 mit einer kreisförmigen Öffnung oder Apertur 2a in seiner Mitte; ein stabförmiges oder scheibenförmiges laminiertes Elastomerteil 3 mit einer ersten elasto-

meren Schicht 31, die in Berührung steht mit dem Aperturteil 32, deren Elastizitätsmodul verschieden von dem der ersten elastomeren Schicht ist; und die auf letzterer in laminierter Form aufgebracht ist; eine transparente und relativ starre, kreisförmige Bodenplatte 4 als Gegenglied, wobei das laminierte Elastomerteil von dem Gegenglied im Verein mit dem Aperturglied 2 sandwichartig eingeschlossen ist; einen zylindrischen Druckring 5 als Mittel zum Aufbringen einer externen Kraft, welches die kreisförmige Bodenplatte 4 beaufschlagt, um andauernd die externe Kraft vorbestimmter Größe auf das laminierte Elastomerteil 3 zwischen dem Aperturglied 2 und der Bodenplatte 4 aufzubringen; die Teile sind in der genannten Reihenfolge, beginnend auf der Seite der freiliegenden Oberfläche des Elastomerteils, entlang der optischen Achse Z des optischen Bauelements angeordnet.

Bei dem oben erläuterten Ausführungsbeispiel des optischen Bauelements 1 ist die kreisförmige Bodenplatte 4 in Richtung der optischen Achse Z beweglich angeordnet, um eine gewünschte Verformung des laminierten Elastomerteils 3 zu veranlassen. Wenn letzteres durch Druckbeaufschlagung mit einer positiven externen Kraft verformt wird, haftet der Druckring 5 an dem Aperturteil 2 und ist an diesem fixiert.

Fig. 4 ist eine Schnittansicht eines optischen Bauelements 1b in einem Zustand, in welchem keine externe Kraft auf das laminierte Elastomerteil 3 aufgebracht wird (d.h., in einem Zustand, in dem der Druckring 5 nicht vorhanden ist). Gemäß Fig. 4 kommt als Material für das stabförmige laminierte Elastomerteil 3 ein natürliches oder synthetisches Polymermaterial mit elastomeren oder elastischen Eigenschaften bei der Temperatur, unter der das Bauelement verwendet werden soll, in Betracht, ohne daß diesbezüglich irgendwelche besonderen Beschränkungen existieren. Derartige elastomere oder elastische Stoffe, die im Rahmen der Erfindung eingesetzt werden können, haben vorzugsweise einen Elastizitätsmodul  $E$  von  $10^2$  bis  $10^6$  N/m<sup>2</sup>, insbesondere von  $10^3$  bis  $10^4$  N/m<sup>2</sup>, und zwar bei der Temperatur, bei der das Bauelement eingesetzt werden soll. Der Elastizitätsmodul ( $E$ ) wird dargestellt durch  $E = \sigma/\gamma$  (wobei  $\sigma$  eine Spannung und  $\gamma$  eine elastische Dehnung ist). Der Elastizitätsmodul  $E$  läßt sich ermitteln durch einen Eindringversuch entsprechend der japanischen Industriernorm (JIS) K 6301 und K 2808.

Liegt der Elastizitätsmodul  $E$  unterhalb von  $10^2$  N/m<sup>2</sup>, so ist es schwierig, eine ursprüngliche oder Anfangsform des Elastomerteils exakt herzustellen, da sich das Elastomerteil aufgrund der Schwerkraft oder aufgrund von Schwingungen und anderen Einflüssen zu sehr verformt und zu weich wird. Wenn der Elastizitätsmodul  $E$  oberhalb von  $10^6$  N/m<sup>2</sup> liegt, wird die externe Kraft zum Verformen des Elastomerteils unerwünscht groß.

Wenn außerdem das optische Bauelement als Linse oder Objektiv eingesetzt wird, sollte das Elastomerteil vorzugsweise eine hohe Lichtdurchlässigkeit zumindest für die in Betracht kommenden Licht-Wellenlängen aufweisen.

Beispiele für elastomere Materialien, die im Rahmen der Erfindung eingesetzt werden können, sind Gummis allgemein, nämlich Naturgummi und synthetische Gummi, wie z. B. Styrol-Butadien-Gummi (SBR), Butadiengummi (BR), Isopren-Gummi (IR), Ethylen-Propylen-Gummi (EPM, EPDM), Butyl-Gummi (IIR), Chloropren-Gummi (CR), Acrylonitril-Butadien-Gummi (NBR), Urethan-Gummi (U), Silicon-Gummi (SI), Fluor-

Gummi (FPM), Polysulfid-Gummi (T), Polyäther-Gummi (POR, CHR, CHC) und dergleichen.

Die oben genannten elastomeren Stoffe können nach Bedarf vernetzt werden. Der Elastizitätsmodul  $E$  läßt sich dadurch ändern, daß man das Ausmaß der Vernetzung steuert. Die Vernetzung kann erreicht werden durch Verwendung eines Vernetzungsmittels wie Schwefel, Peroxid und dergleichen.

Die genannten verschiedenen Elastomere können als Stoff für die erste elastomere Schicht 31 oder die zweite elastomere Schicht 32 verwendet werden, während Silicongummi, Ethylen-Propylen-Gummi und dergleichen besonders bevorzugt werden im Hinblick auf gewünschte mechanische Eigenschaften, insbesondere den Elastizitätsmodul und dergleichen, außerdem wegen gewünschter optischer Eigenschaften wie dem Brechungsindex und dergleichen.

Wenn die Elastizitätsmoduli der ersten elastomeren Schicht 31 und der zweiten elastomeren Schicht 32, die aus den oben genannten Stoffen bestehen, mit  $E_1$  bzw.  $E_2$  bezeichnet werden, und wenn die Dicken der ersten und der zweiten elastomeren Schicht entlang der optischen Achse Z in der ursprünglichen Gestalt als  $h_1$  bzw.  $h_2$  bezeichnet werden, so gilt vorzugsweise die Beziehung  $E_1 > E_2$  und insbesondere wird bevorzugt, wenn die Beziehung  $h_1 \leq h_2$  zusammen mit  $E_1 > E_2$  erfüllt ist. Bei  $h_1 > h_2$  ist die externe Kraft, die zur Verformung des laminierten Elastomerteils 3 aufgebracht wird, erhöht.

Um außerdem ein laminiertes Elastomerteil 3 zu erhalten, welches in der Lage ist, die freiliegende Oberfläche 3a in praktisch kugelförmiger (sphärischer) Form zu halten, während die Verformung stattfindet, sollte die folgende Beziehung (1) erfüllt sein:

$$5 < (E_1 h_1) / (E_2 h_2) < 100 \quad (1)$$

Die erste und die zweite elastomere Schicht 31 bzw. 32 können aus ähnlichen Stoffen oder aber auch aus verschiedenen Stoffen bestehen. Allerdings sollten diese elastomeren Schichten vorzugsweise von einem ähnlichen oder gleichen Materialtyp gebildet sein, z. B. aus Silicongummi bestehen, damit das laminierte Elastomerteil 3 ohne Schwierigkeiten mit hervorragenden optischen Eigenschaften aufgrund einer relativ geringen Differenz im Brechungsindex, oder zur Aufrechterhaltung eines gewünschten Haftvermögens zwischen den beiden Schichten, hergestellt werden kann.

Das Aperturteil 2, welches das laminierte Elastomerteil aufnimmt, besteht aus einem hohlen und bodenlosen zylindrischen Teil mit einer kreisförmigen Öffnung 2a in seiner Oberseite. Das Teil ist z. B. aus einer 1 bis 2 mm dicken Platte gebildet und besteht aus einem relativ starren Material, z. B. aus einem Metall, Glas oder Harz.

Vorzugsweise besteht das Aperturteil 2 aus einem opaken Material.

Die kreisförmige Bodenplatte 4 schließt das laminierte Elastomerteil 3 zwischen sich und dem Aperturteil 2 ein; es kann aus einem relativ starren transparenten Material wie Glas, Harz oder dergleichen bestehen.

Vorzugsweise hat es eine Dicke von etwa 1 bis 5 mm.

Die Form der Bodenplatte 4 ist nicht speziell beschränkt, solange es in der Lage ist, im Verein mit dem Aperturteil 2 eine Druck- oder Zugkraft auf das Elastomerteil aufzubringen.

Gemäß Fig. 3 kann der gegen die Bodenplatte 4 drückende Druckring 5 als Einrichtung zur Aufbringung einer externen Kraft aus einem ähnlichen Material bestehen wie das Aperturteil 2. Durch Befestigen und Fixie-

ren des Druckrings 3 an dem Aperturteil 2 ändert sich der Zustand, in welchem keine externe Kraft auf das Elastomerteil 3 aufgebracht wird (wie Fig. 4 zeigt), in den Zustand, in welchem eine externe Kraft vorbestimmter Größe auf das Elastomerteil 3 aufgebracht wird, so daß das optische Bauelement 1 in der erfindungsgemäßen Weise vorliegt.

Die erwähnte externe Kraft wird auf das Elastomerteil 3 durch den Druckring 5 aufgebracht, mit dem Zweck, eine regelmäßige Korrelation zwischen dem Ausmaß der Änderung der Brechkraft (oder der Brennweite) und dem Ausmaß der Verformung des Elastomerteils zu realisieren. Das Ausmaß der vorbestimmten Kraft wird vorzugsweise bestimmt als Betrag der Verformung des Elastomerteils 3, verursacht durch die auf es aufgebrachte Kraft (d. h. das Ausmaß der Verformung wird gezählt oder gemessen, indem man mit dem in Fig. 4 dargestellten Zustand (ohne externe Kraft) beginnt und zu dem Zustand nach Fig. 3 (mit Vorspannkraft) gelangt).

Das Ausmaß der Bewegung und der Versetzung ( $\Delta Z$ ) der kreisförmigen Bodenplatte 4 entlang der optischen Achse Z, entsprechend der Änderung von dem Zustand nach Fig. 4 in den Zustand nach Fig. 3, kann etwas in Abhängigkeit der Elastizitätsmoduli  $E_1$  und  $E_2$  der ersten bzw. der zweiten elastomeren Schicht variieren, oder in Abhängigkeit der ursprünglichen Dicke der Schichten entlang der optischen Achse Z ( $t_1$  und  $t_2$ ). Allerdings sollte das Verhältnis  $\Delta Z$  zur Gesamtdicke ( $T = t_1 + t_2$ ) des laminierten Elastomerteils 3 entlang der optischen Achse Z vorzugsweise 1 bis 20% betragen, vorzugsweise 2 bis 10%.

Wenn das genannte Verhältnis  $\Delta Z$  zu  $T$  kleiner ist als 1%, ist es schwierig, eine gute oder regelmäßige Korrelation (z. B. eine Proportionalität) zwischen dem Ausmaß der Verformung des Elastomerteils 3 ( $\Delta Z$ ) und dem Ausmaß der Änderung der Brechkraft ( $\Delta C$ ) des optischen Bauelements 1 zu erhalten, oder es kann Schwierigkeiten bereiten, die Unregelmäßigkeit der freiliegenden Oberfläche 3a zu vermeiden. Im vorliegenden Fall werden sowohl  $\Delta Z$  als auch  $\Delta C$ , ausgehend von dem in Fig. 3 gezeigten Zustand, gemessen.

Wenn andererseits das Verhältnis  $\Delta Z$  zu  $T$  größer als 20% ist, wird die von dem Druckglied 5 auf das Elastomerteil 3 aufgebrachte externe Kraft zum Ändern des Wertes von  $\Delta Z$  unerwünscht groß.

Bei der Erfindung kann die erwähnte regelmäßige Korrelation zwischen dem Ausmaß der Verformung des Elastomerteils 3 und dem Ausmaß der Änderung der Brechkraft (oder der Brennweite) vorzugsweise eine funktionelle Korrelation entsprechend einer gewissen Formel sein, z. B. eine Proportionalität, eine umgekehrte Proportionalität oder ein Exponentialverlauf. Diese Korrelation kann vorzugsweise eine Proportionalität oder eine lineare Korrelation sein, damit die Brechkraft sehr einfach genau gesteuert werden kann.

Um die Unregelmäßigkeit der freiliegenden Oberfläche zu vermeiden, kann die externe Kraft, die durch das Druckglied 5 auf die Bodenplatte 4 aufgebracht wird, vorzugsweise in einer solchen Richtung wirken, daß die Flächengröße der freiliegenden Oberfläche 3a vergrößert wird. Wenn also die ursprüngliche Form der freiliegenden Oberfläche 3a konvex ist, während keine externe Kraft einwirkt, wie in Fig. 4 gezeigt ist, wird vorzugsweise eine externe Kraft in eine Richtung aufgebracht, bei der das Elastomerteil 3 druckbeaufschlagt wird, indem die Bodenplatte 4, wie Fig. 3 zeigt, nach oben bewegt wird. Wenn andererseits die ursprüngliche Form

der freiliegenden Oberfläche konkav ist (dieses Beispiel ist in der Zeichnung nicht dargestellt), so wird vorzugsweise eine externe Kraft in einer Richtung aufgebracht, bei der das Elastomerteil 3 einem Unterdruck ausgesetzt wird, indem die Bodenplatte 4 nach unten gezogen wird. Wenn das Elastomerteil 3 von Unterdruck beaufschlagt wird, ist es erforderlich, die erste Elastomerschicht 31 fest an dem Aperturteil 2 zu fixieren (d. h. die Fläche auf der Seite der freiliegenden Oberfläche 3a fest mit dem Aperturteil 2 zu verbinden).

Als Mittel zur Aufbringung einer externen Kraft kommen an sich bekannte Mittel zum Einsatz, darunter eine Feder, eine Spirale und dergleichen, also Mittel, die in der Lage sind, eine konstante externe Kraft auf das Elastomerteil 3 aufzubringen. Diese Teile und deren Verwendung unterliegen nur insoweit einer Einschränkung, als gewährleistet sein muß, daß sie die optischen Eigenschaften des optischen Bauelements 1 (im Fall eines Objektivs also beispielsweise die Durchlässigkeit für einen Lichtstrahl) nicht beeinträchtigen. Um eine externe Kraft stabil und genau gesteuert auf das Elastomerteil 3 aufzubringen, wird vorzugsweise eine statische Aufbringeinrichtung wie der oben erwähnte Druckring 5 verwendet.

Das optische Bauelement 1 mit dem oben beschriebenen Aufbau kann beispielsweise in seiner Gesamtheit in zylindrischer Form ausgebildet sein, wie Fig. 3 zeigt. Allerdings kann im Rahmen der Erfindung das optische Bauelement auch beispielsweise ein Elastomerteil in Form eines rechtwinkligen Parallelepipeds und ein Aperturteil mit einer rechtwinkligen, schlitzförmigen Öffnung in der Form eines rechtwinkligen Parallelepipeds aufweisen. Die schlitzförmige freiliegende Oberfläche eines solchen Bauelements kann als zylindrische Linse, als torische Linse und dergleichen fungieren.

Außerdem kann die freiliegende Oberfläche 3a des Elastomerteils 3 als reflektierende Oberfläche ausgebildet sein, z. B. indem man auf die freiliegende Oberfläche Metall aufdampt. Bei einer solchen Ausführungsform muß der Stoff, aus dem das Elastomerteil besteht, nicht unbedingt transparent sein. Außerdem können in dem Elastomerteil Füllstoffe, z. B. ein Metallpulver, dispergiert sein.

Nachdem das den oben beschriebenen Aufbau aufweisende optische Bauelement 1 hergestellt ist, indem eine externe Vorspannkraft auf das Elastomerteil ausgeübt wurde, läßt sich das Bauelement betreiben, indem eine zusätzliche externe Kraft auf das Bauelement aufgebracht wird, damit sich die Brennweite (oder der Brechungsindex) ändert. Dies geschieht mittels zusätzlicher Verformung des Elastomerteils.

Fig. 5 zeigt eine Anordnung, bei der ein zylindrisches Treiberglied 6 in Richtung der optischen Achse Z beweglich angeordnet ist und in Berührung mit einer Seite der kreisförmigen Bodenplatte 4, die den Druckring 5 kontaktiert, steht. Das Treiberglied 6 ist an eine (nicht gezeigte) Antriebsvorrichtung, z. B. einen Motor oder eine Spirale, angeschlossen.

Wenn das Treiberglied 6 nach oben bewegt wird und dadurch auf das Elastomerteil 3 ein positiver Druck aufgebracht wird, wird die freiliegende Oberfläche 3a des Elastomerteils 3 noch weiter, als in Fig. 3 gezeigt ist, durch die Öffnung 2a des Aperturteils 2 vorgeschoben, so daß sich eine konvexe Linse entsprechend der Stärke des aufgetragenen Drucks ausbildet. Es läßt sich also durch Steuern der Stärke des auf das Elastomerteil aufgetragenen Drucks die Form der konvexen Linse reversibel ändern, wodurch man eine gewünschte Brennweite

erhalten kann.

Die externe Kraft vorbestimmter Stärke wird z. B. dadurch auf das Elastomerteil 3 aufgebracht, daß man den in Fig. 3 gezeigten Druckring 5 verwendet. Aus diesem Grund gibt es eine gute Korrelation (z. B. einer Proportionalität) zwischen dem Ausmaß der Verformung des Elastomerteils ( $\Delta Z$  gezählt vom Zustand gemäß Fig. 3 aus), hervorgerufen durch das Treiberglied 6, und dem Ausmaß der Änderung der Brechkraft ( $\Delta C$ , gemessen vom Zustand nach Fig. 3 aus).

Durch Steuern der oben genannten Verformung läßt sich also eine gewünschte Brechkraft (oder eine gewünschte Brennweite) exakt einstellen.

Wenn andererseits ein negativer Druck (eine Zugkraft) auf das Elastomerteil 3 aufgebracht wird, kann dessen freiliegende Oberfläche 3a eine reversibel veränderliche konkave Linse (in der Zeichnung nicht dargestellt) darstellen, bei der eine gute Korrelation zwischen  $\Delta Z$  und  $\Delta C$  vorhanden ist. In diesem Fall wird der Druckring 5 an der Bodenplatte 4 befestigt, nicht jedoch an dem Aperturteil 2.

Die Wirkung des oben beschriebenen optischen Bauelements 1 läßt sich leicht analysieren, z. B. entsprechend dem Finit-Element-Verfahren unter Verwendung eines Strukturanalyseprogramms.

Bei dem oben beschriebenen Ausführungsbeispiel sind das Treiberglied 6 und der Druckring 3 als Mittel zum Aufbringen einer externen Kraft vorbestimmter Größe als separate Teile ausgebildet. Es ist im Rahmen der Erfindung jedoch ebenfalls möglich, ein einzelnes Teil zu verwenden, das in der Lage ist, eine externe Kraft mit vorbestimmter Stärke aufzubringen (z. B. kann dies mit Hilfe des Treiberglieds 6 geschehen), anstatt beide Teile 5 und 6 vorzusehen.

Bei dem oben beschriebenen Ausführungsbeispiel wird ein als Laminat ausgebildetes Elastomerteil 3 verwendet, was insofern vorteilhaft ist, als die Form der freiliegenden Oberfläche 3a in der gewünschten Form aufrechterhalten werden kann, einschließlich Kugelform oder dergleichen, während die Verformung des Elastomerteils vorstehend geht. Es ist aber ebenfalls möglich, eine gute Korrelation zwischen  $\Delta Z$  und  $\Delta C$  zu erreichen, wenn man ein aus einer einzigen Schicht bestehendes Elastomerteil anstelle des als Laminat ausgebildeten Elastomerteils 3 verwendet.

Die Erfindung schafft ein optisches Bauelement mit veränderlicher Brennweite, umfassend eine Einrichtung zum kontinuierlichen Aufbringen einer externen Kraft vorbestimmter Größe auf ein elastomeres Teil des Bauelements, dessen Brechkraft (oder Brennweite) mühelos mit größerer Genauigkeit gesteuert werden kann. Der genannte Effekt läßt sich dadurch erreichen, daß man die Unregelmäßigkeiten der freiliegenden Oberfläche beseitigt und eine gute Korrelation zwischen dem Ausmaß der Verformung oder Versetzung des elastomeren Teils und der Änderung der Brechkraft (oder der Brennweite) realisiert.

Im folgenden soll ein Beispiel eines solchen Bauelements detailliert erläutert werden:

#### Beispiel

Es wurde ein optisches Bauelement 1b gemäß Fig. 4 hergestellt.

Das als Laminat ausgebildete Elastomerteil 3 wurde dadurch hergestellt, daß eine transparente, zweite elastomere Schicht 32 mit einer Dicke  $t_2$  von 4 mm entlang der optischen Achse Z auf einer transparenten, ersten

elastomeren Schicht 31 mit einer Dicke  $t_1$  von 1 mm entlang der optischen Achse Z auf laminiert wurde. Die erste elastomere Schicht 31 wurde gebildet durch Herstellen eines Gemisches von 100 Teilen eines Silicongummis (Handelsbezeichnung: KE 106 der Fa. Shinetsu Kagaku Kogyo K. K.) und 10 Teilen eines Aushärtemittels (Handelsbezeichnung: Catalyst RG, hergestellt durch Shinetsu Kagaku Kogyo K. K.) durch Zusammenfügen der Stoffe und Mischen, woraufhin das Gemisch unter Vakuum entgast wurde, bevor es bei 65°C 4 Stunden lang ausgehärtet wurde. Die zweite elastomere Schicht 32 wurde gebildet durch Herstellen eines Gemisches aus 10 Gew.-Teilen Silicongummi KE 106, 1 Gew.-Teil des Aushärtemittels Catalyst RG, 100 Gew.-Teilen Silicongummi KE 104 Gel und 10 Gew.-Teilen des Aushärtemittels Catalyst 104 (jeweils von der Firma Shinetsu Kagaku Kogyo K. K. hergestellt), durch Mischen der Stoffe, durch Entgasen des Gemisches unter Vakuum und durch anschließendes Aushärten des Gemisches bei einer Temperatur von 40°C während einer Standzeit von 72 Stunden.

Dann wurde ein laminiertes Elastomerteil 3 in der ursprünglichen Gestalt eines Stabs mit sphärischer freiliegender Oberfläche 3a gebildet, wobei der Krümmungsradius der sphärischen Oberfläche 50 mm betrug, während eine Bodenfläche (d. h. die der Bodenplatte 4 gegenüberliegende Bodenfläche) einen Durchmesser von 25 mm besaß.

Dann wurde das in Fig. 4 dargestellte optische Bauelement 1b fertiggestellt, indem das oben beschriebene laminierte Elastomerteil 3 zwischen einer kreisförmigen Bodenplatte 4 eines Durchmessers von 30 mm und einem zylindrischen Aperturteil 2 mit einer kreisförmigen Öffnung 2a eines Durchmessers von 20 mm und einem Innendurchmesser von 30 mm sandwichartig eingefügt wurde. Bezüglich weiterer Einzelheiten bei der Herstellung des optischen Bauelements 1b sei verwiesen auf die auf einer Anmeldung der Anmelderin der vorliegenden Erfindung zurückgehende japanische Patentanmeldung 88 483/1986.

Dann wurde, wie Fig. 3 zeigt, ein aus Aluminium bestehender zylindrischer Druckring 5 mit einem Innendurchmesser von 25 mm an dem Aperturteil 2 befestigt, wodurch die Bodenplatte 4 nach oben bewegt wurde (d. h. in die einer Druckbeaufschlagung des Elastomerteils 3 entsprechende Richtung), und zwar um ein Stück  $\Delta Z_0 = 0,2$  mm, gemessen vom Zustand des optischen Bauelements 1b gemäß Fig. 4 entlang der optischen Achse Z, so daß das in Fig. 3 gezeigte erfindungsgemäße optische Bauelement 1 erhalten wurde. Bei dem Bauelement 1 nach Fig. 3 wurden Unregelmäßigkeiten, wie sie möglicherweise bei der Bildung des Elastomerteils 3 hätten erwartet werden können, vermieden, und es wurde eine optische Oberfläche mit hoher Genauigkeit erhalten.

Gemäß Fig. 5 wurde ein zylindrisches Treiberglied 6 mit einem Innendurchmesser von 23 mm in dem optischen Bauelement 1 angeordnet, und mit Hilfe des Treiberglieds 6 wurde die aus Glas bestehende Bodenplatte 4 in der einer Druckbeaufschlagung des Elastomerteils 3 entsprechenden Richtung um ein Stück  $\Delta Z_0 = 0,04$  mm, gemessen vom Zustand nach Fig. 3 aus, entlang der optischen Achse Z bewegt. Als Ergebnis dieses Vorgangs verformte sich die freiliegende Oberfläche 3a des Elastomerteils 3 reversibel und kontinuierlich, während eine praktisch sphärische Oberfläche mit einem Krümmungsradius im Bereich von 45–30 mm beibehalten wurde.

In diesem Fall wurde entsprechend dem obigen Wert  $\Delta Z$  die Brechkraft des optischen Bauelements 1 fast linear in dem Bereich von 8,8—13,3 Dioptrern geändert.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

- Leersseite -



3712145

Nummer:  
Int. Cl. 4:  
Anmeldetag:  
Offenlegungstag:

37 12 145  
G 02 B 26/00  
10. April 1987  
17. März 1988

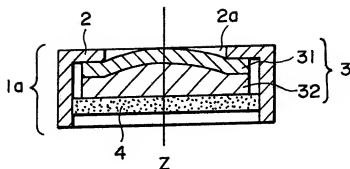


FIG. 1

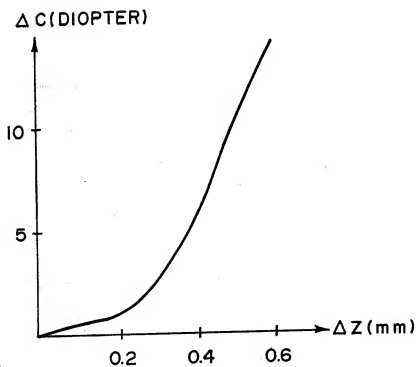


FIG. 2

3712145

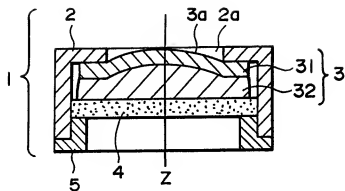


FIG. 3

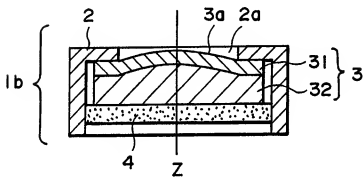


FIG. 4

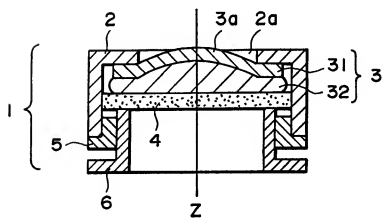


FIG. 5

ORIGINAL INSPECTED